

(19)



(11)

**EP 2 362 090 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**31.08.2011 Patentblatt 2011/35**

(51) Int Cl.:  
**F03D 1/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **10401197.8**

(22) Anmeldetag: **16.11.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(71) Anmelder: **Ed. Züblin AG**  
**70567 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Sommer, Jan**  
**70569 Stuttgart (DE)**  
• **Graf, Robert**  
**71111 Waldenbuch (DE)**  
• **Brosig, Stefan**  
**70563 Stuttgart (DE)**

(30) Priorität: **22.12.2009 DE 102009055175**

**(54) Nachjustierbare Flächengründung, bevorzugt aufgelöst, für Offshore-Windenergieanlagen**

(57) Die erfindungsgemäße Gründung einer Offshore-Windenergieanlage weist Gründungselemente (4) auf, deren Einhüllende im Grundriss eine Fläche umschließt. Diese flächenhafte Gründung (4) liegt auf dem Meeresboden (5) auf - bevorzugt nur über definierte Lasteinleitungsbereiche (2) - oder ist nur geringfügig im gewachsenen Boden versenkt. Unter den Lasteinleitungsbereichen (2) sind Kissen (1) angeordnet, die nachträglich verpresst werden können und so eine mögliche Schiefstellung korrigieren.

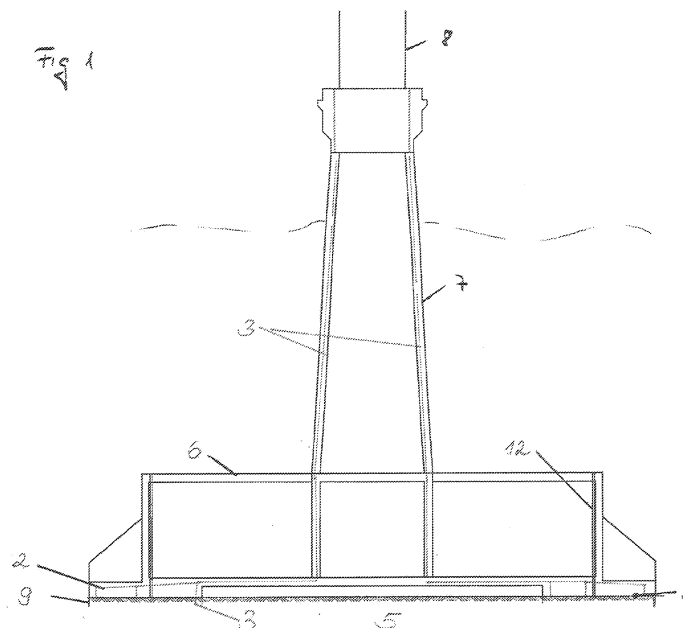
Die flächenhafte Gründung (4) ist kein übliches Schwerkraftfundament, hat aber eine ähnliche Wirkung. Kippmomente aus dem Mast (8) werden von der flächenhaf-

ten Gründungsstruktur (4) aufgenommen und über Bodenpressung abgetragen.

Eine mögliche einfache Ausführungsform besteht aus zwei ein Kreuz (4) bildenden Betongründungsbalken (6), auf deren Kreuzungspunkt sich ein Mast (8) oder Mastuntersatz (7) erhebt.

Die Betonbalken können massiv sein, bevorzugt ist aber eine Hohlstruktur, die zur Erhöhung des Gewichtes mit Material (z.B. Boden, Sand, Steine) verfüllt wird. Die Gründungsbalken (6) können hierzu auch als liegendes U-Profil ausgeführt sein.

Ein Kolkschutz in der näheren Umgebung der Gründung verhindert eine Unterspülung.

**EP 2 362 090 A2**

## Beschreibung

Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung betrifft die Gründung von Offshore-Windenergieanlagen.

Stand der Technik

**[0002]** Es ist bekannt, als Gründung für Offshore-Windenergieanlagen in den Boden eingerammte Monopiles, mit Pfählen verankerte Tripods oder Jackets, oder Schwerkraftfundamente einzusetzen.

**[0003]** Bei den Schwerkraftfundamenten handelt es sich um häuserblockgroße, sandgefüllte Betonhohlkästen, die auf dem Meeresboden aufliegen oder teilweise darin versenkt sind, und auf denen der Mast der Windenergieanlage errichtet ist.

**[0004]** Schwerkraftfundamente haben den Vorteil, ohne große Geräusentwicklung auf dem Meeresboden abgesetzt zu werden und damit naturschützende Vorgaben erfüllen zu können. Meerestiere werden durch Lärmemission beim Einrammen bei alternativen Gründungsverfahren häufig hörgeschädigt und damit orientierungslos.

**[0005]** Zudem sollten Gründungen auch einfach rückbaubar sein, um neuen Technologien (z.B. größeren Anlagen) bei der Windenergiegewinnung nicht hinderlich zu sein, häufig wird die Rückbaubarkeit auch im Zusammenhang mit der Genehmigung gefordert.

**[0006]** Zur Einleitung der hohen Lasten aus dem Betrieb der Offshore-Windenergieanlagen in den Baugrund ist bei Schwerkraftfundamenten ein vollflächiger und kraftschlüssiger Kontakt zwischen Bauwerksohle und Baugrund zwingend erforderlich. Hierzu bedarf es der Herstellung eines gleichmäßigen und ebenen Planums unter Wasser durch Aushubarbeiten bis auf ausreichend tragfähige Bodenschichten oder der Aufschüttung von geeignetem Bodenmaterial.

**[0007]** In der Offenlegungsschrift EP 1 691 073 wird bereits ein kreuzförmiges Gründungselement aus Betonbalken mit definierten Lasteinleitungsbereichen beschrieben - es hat sich jedoch gezeigt, dass die erforderliche Genauigkeit in der Herstellung des Planums unter Offshore-Bedingungen in großer Tiefe auf dem Meeresgrund nur schwer zu erreichen ist. Auch spätere Schiefstellungen der Windkraftanlage infolge extremer Belastung - durch einen Jahrhundertsturm zum Beispiel - oder durch Setzungen im Baugrund sind bei dieser Gründungsart nur mit sehr großem Aufwand korrigierbar. Da die Effektivität und insbesondere die Funktionalität einer Offshore-Windenergieanlage u.a. von deren Vertikalität abhängt, kommt dem Ausrichten und Nachjustieren schiefstehender Offshore-Flachgründungen eine zentrale Bedeutung zu.

## Aufgabe der Erfindung

**[0008]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Gründung für eine Offshore-Windenergieanlage anzugeben, die kostengünstig ist, ein günstiges Tragverhalten hat, ohne große Lärmbelästigung vor Ort installiert werden kann und auf einfache Weise rückbaubar oder umsetzfähig ist. Darüber hinaus soll der kraftschlüssige Verbund unter dem Lasteinleitungsbereich sicher herstellbar und etwaige, im Nutzungszeitraum auftretende Schiefstellungen korrigierbar sein.

## Darstellung der Erfindung

**[0009]** Die Aufgabe wird durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

**[0010]** Grundlage der Erfindung ist eine flächige Gründung (4), die auf dem Meeresboden (5) aufliegt oder teilweise darin versenkt ist, und auf der sich ein Unterbau (7) für den Mast (8) der Windenergieanlage, oder der Mast (8) der Windenergieanlage selbst, erhebt. Die Gründung (4) wirkt flächig über einen Gründungskörper, der in Analogie zum Ständer eines Weihnachtsbaumes oder zu einem Schreibtischstuhl kreuzförmig ausgebildet ist. Hierzu beträgt das Verhältnis von Durchmesser zu Höhe ein Viertel oder weniger, bevorzugt ein Fünftel oder weniger.

**[0011]** Die Einhüllende der aufgelösten Gründungselemente bildet eine Grundfläche mit ähnlicher Wirkung (aber größerem Durchmesser und geringerem Masseverbrauch) wie ein durchgehendes, flächiges Schwerkraftfundament.

**[0012]** Die flächenhafte Gründung weist Leerstellen (11) auf: Teile der aufgespannten Fläche sind weggelassen, wie z.B. auch beim fünfarmigen Stern als "Gründung" eines Drehstuhles oder dem dreibeinigen Fuß eines Stativs. In definierten Lasteinleitungsbereichen (2) am jeweils äußeren Ende des Baukörpers erfolgt der Abtrag der Bauwerkslasten in den Meeresgrund (5). Dort werden auch die daran angebrachten Stahlschürzen (9) in den Untergrund eingetrieben und nachträgliche Maßnahmen zum Kolksschutz ergriffen.

**[0013]** Kippmomente des Mastes (7 oder 8) und Vertikalkräfte werden in den Lasteinleitungsbereichen (2) der aufgelösten, flächigen Gründung (4) aufgenommen und über Bodenpressungen an den Meeresboden (5) weitergegeben. Durch geeignete Maßnahmen wird sichergestellt, dass der Mittelteil der Gründung, über der sich der Mast (8) erhebt, hohl liegt. Wesentliches Merkmal der Erfindung ist, dass unter den Lasteinleitungsflächen (2) der Kraftschluss bei Erfordernis durch Verpressmaßnahmen erzielt wird.

**[0014]** Hierfür ist erfindungsgemäß bereits bei der onshore-Herstellung der Fundamente an entsprechenden Stellen der Lasteinleitungsbereiche (2) mindestens ein zunächst unbeaufschlagtes, 'leeres', flächiges Kissen (1) aus hochfestem textilem Material angeordnet und die zu mindestens einer späteren Beaufschlagung mit Ver-

pressmaterial notwendigen Verpressleitungen (3) und -ventile im Fundament eingebaut. Ein solches Verpresskissen (1) besteht aus einer oder bevorzugt mehreren Lagen, bzw. ist durch Trennlagen horizontal unterteilt, so dass nach dem Setzen des Fundamentes bei Bedarf zunächst ein erster Verpressvorgang erfolgen kann, der den notwendigen Kraftschluss zwischen Lasteinleitungsfläche (2) am Fundament und dem Meeresgrund (5) herstellt und eine Ausrichtung des Fundamentkörpers (4) ermöglicht. In Abhängigkeit der zu erwartenden Pressungen in der Sohlfuge der flächigen Lasteinleitungsbereiche (2) werden Geogitter in die Kammern der Kissen (1) eingesetzt, um eine bessere Materialverteilung innerhalb der Verpresskissen (1) zu erhalten.

**[0015]** Bedarfsabhängig und messtechnisch unterstützt können jederzeit einzelne oder mehrere Fundamentpratzen (2) mit (bevorzugt hydraulisch) aushärtendem Verpressmaterial unter Druck und mit steuerbarer Injektionsgutmenge angefahren werden. So können auch während der Nutzungsdauer der Windkraftanlage auftretende Schiefstellungen ausgeglichen und korrigiert werden. Die flächenmäßige Gründung (4) besteht in einem bevorzugten Fall aus einem Betonkreuz (4), an dessen Kreuzungspunkt sich der Unterbau / Mastuntersatz (7) oder der Mast (8) selbst, erhebt.

**[0016]** Im Mastbereich (7, 8) - oberhalb des Wasserspiegels - wird ein Neigungsmesssystem, z.B. ein Schlauchwaagensystem (10) oder Inklinometer-Messsysteme, installiert, das zunächst auftretende Schiefstellungen der Windkraftanlage erfasst und aufzeichnet. Nach dem Überschreiten von vorab definierten Grenzwerten können die Kissen (1) unter den Lasteinleitungsbereichen (2) gezielt mit Verpressmaterial - bevorzugt einem hydraulisch aushärtenden Material in ausreichend flüssiger Konsistenz, das die im Gründungsbe-  
reich erforderliche Materialfestigkeit erreicht - unter Druck beaufschlagt werden. Über den Verbrauch des Verpressmaterials kann die Dicke des nun aktivierten Kissens (1) bzw. der aktivierten Kissenlage und damit die Hebung der einzelnen Fundamentpratze (2) gesteuert werden; ein undefinierter Materialverlust in den angrenzenden Boden ist - im Gegensatz zu herkömmlich Verpressvorgängen - ausgeschlossen.

**[0017]** Das Neigungsmesssystem (10) am Mast (7, 8) registriert die Bewegungen des Bauwerkes, die der vorausgegangenen Schiefstellung entgegen wirken. Wenn die geplante Stellung des Mastes (7, 8) erreicht ist, wird der Verpressvorgang beendet. Hierfür werden die Pumpen abgeschaltet und die fest installierten Verpressleitungen (3) druckdicht verschlossen. Für spätere Verpressvorgänge vorgesehene Leitungen (3) bleiben zunächst ungenutzt.

**[0018]** Für zusätzliche Justierung schiefstehender Flachgründungselemente (4) durch Kompensationsinjektionen in den Meeresgrund werden bereits bei der Onshore-Herstellung der Gründungskörper (4) Leerrohre (12) eingebaut, um eine spätere Beschädigung der Spannglieder innerhalb der Gründungsstruktur (4) durch

Kernbohrungen zu vermeiden. Für die Nachjustierung durch Kompensationsinjektionen wird eine Meeresbohrmaschine - wie sie für die Entnahme von Bohrkernen zur Erforschung der Gashydrate im Meeresboden verwendet wird - auf die Gründung (4) abgelassen. Durch die Leerrohre (12) wird eine verrohrte Bohrung bis in eine Tiefe von mehreren Metern unterhalb der Lasteinleitungsbereiche (2) geführt. Im Anschluss daran werden Manschettenrohre in die Bohrung eingestellt, das Bohrohr gezogen und der Ringraum sukzessive verdämmt. Durch das direkte Ansteuern der Packer und den Eintrag von Zementsuspension unter Druck wird der Boden unterhalb des Lasteinleitungsbereiches (2) in verschiedenen Tiefen aufgespennt und mit Injektionsgut verfüllt. Der zusätzliche Materialeintrag führt zu einer Volumenzunahme des Baugrundes unterhalb der injizierten Flächen und bewirkt eine Ausrichtung der Windenergieanlage mit zusätzlicher Verfestigung des Bodens.

**[0019]** Typische ungefähre Abmessungen eines Betonkreuzes (4) und Mastuntersatzes (7) einer erfindungsgemäßen flächenhaften Gründung (4) für Windenergieanlagen mit einer Leistung von ca. 3 bis 5 MW weisen bei einer Wassertiefe von 15 bis 40 Metern einen Durchmesser von 25 bis 40 Metern auf. Die Breite eines Betonbalkens (6) beträgt ungefähr 8,5 Meter, seine Höhe etwa 8,0 Meter. Bevorzugt ist eine steife Verbindung zwischen Gründung (4) und Mastuntersatz (7) oder Mast (8).

**[0020]** Im Lasteinleitungsbereich (2) erfolgt ein Anfüllen des Gründungselementes (4) auf ein bis zwei Drittel der Bauhöhe. Die Wandstärke des als Hohlprofil ausgelegten Betonkreuzes (4) beträgt ungefähr 0,5 Meter. Am Ende der Betonbalken (6) befinden sich Stützfüße (2) als Betonlastplatten von ungefähr 8 auf 16 Metern und einer Stärke von ungefähr 1,0 Metern. Der Lasteinleitungsbereich (2) wird von einer Stahlschürze (9) eingefasst, die etwa 50 Zentimeter in das vorbereitete Planum am Meeresgrund (5) einbindet. Innerhalb dieser Schürzen sind die Geotextil-Kissen (1) - in Teilbereichen oder vollflächig - angeordnet. In beaufschlagtem Zustand kann jede einzelne Lage der Kissen (1) bis zu 50 Zentimeter dick werden, es werden eine oder mehrere - in der Regel zwei - Kissenlagen für jeden Lasteinleitungsbereich (2) vorgesehen.

**[0021]** Der als Betonrohr ausgeführte Mastuntersatz (7) hat im unteren Bereich eine Wandstärke von ungefähr 0,9 Meter, oberhalb des Wasserspiegels (ungefähr 15 bis 20 Meter), wo der Mast der Windenergieanlage angeflanscht wird, noch ungefähr 0,6 Meter. Jede Kissenlage ist an eine oder mehrere Verpressrohre (3) angeschlossen, die innerhalb der Betonbalken (6) zum Mast (7, 8) hin und in diesem nach oben bis bevorzugt über die Wasseroberfläche verlaufen. Dort befinden sich die Verpressanschlüsse.

Bei einer Variante der Erfindung werden diese Rohre (3) nicht nur als Verpressrohre eingesetzt, sondern auch als Saugrohre durch die hindurch ein Unterdruck unter einem oder mehreren Lasteinleitungsbereichen (2) erzeugt werden kann, um die Windenergieanlage bei Ex-

trem-Einwirkungen (Sturm, Tsunami) am Boden temporär festzusaugen und dadurch zusätzlich zu sichern. Bevorzugt weist das Fundament ringsum den Lasteinleitungsbereich (2) in den Untergrund einbindende Schürzen (9) auf, die die Fläche gegen seitliches Eindringen von Wasser abdichten. Der Unterdruck wird mittels mindestens einer Pumpe erzeugt, die Wasser durch ein Filtermaterial - das mit dem Kissen (1) kombiniert sein kann und den Austrag von Boden verhindert - saugt. Die Pumpe kann eine elektrische oder mit Verbrennungsmotor betriebene oder eine Mammutpumpe sein, gegebenenfalls sind bei der Fundamentherstellung bereits entsprechend zusätzlich erforderliche Leitungen und Anschlüsse vorzusehen. Die Anordnung einer Pumpe ist bevorzugt oberhalb des Meeresspiegels vorzusehen, da so Wartungsarbeiten erleichtert werden.

**[0022]** Variationen zu diesen Richtwerten der Abmessungen sind möglich und tragen dann den Bedingungen vor Ort Rechnung. Sowohl die Betonbalken (6), als auch der Mastuntersatz (7) bestehen aus in der Regel vorgepanntem Beton.

**[0023]** Die Betonbalken (6) sind eben oder zum Mittelpunkt der Gründung (4) hin leicht (z.B. ungefähr 2°) aufwärts geneigt.

**[0024]** Die Figuren zeigen beispielhaft schematische Ausführungsformen mit einem Betonkreuz (4) als Gründung.

**[0025]** Fig. 1 zeigt die Gründung einer Windenergieanlage im Querschnitt mit erfindungsgemäßer flächiger Gründung (4) durch ein Betonkreuz, welches - in bevorzugter Ausführung - steif mit dem Mastuntersatz / Mast (7, 8) verbunden ist. Das Betonkreuz (4) sitzt mit Stützfüßen (2) auf dem Meeresboden (5) auf. In der Sohlfuge zwischen Lasteinleitungsbereich (2) und Meeresboden (5) befindet sich ein zum Absetzzeitpunkt unbeaufschlagtes flächiges Kissen (1) aus hochfestem textilem Material. Durch das Betonkreuz der Gründung verlaufen Leerrohre (3) für die Verpresseinrichtung und Leerrohre (12) für spätere Kompensationsinjektionen.

**[0026]** Fig. 2 zeigt in der Draufsicht eine flächige Gründung (4) in Form eines Betonkreuzes mit Lasteinleitungsbereichen (2) und Leerrohren (3, 12).

**[0027]** Fig. 3a zeigt ein Detail des Gründungskörpers (4) mit einer Lasteinleitungsfläche (2). Zwischen Lasteinleitungsfläche (2) und Meeresboden (5) befindet sich ein zunächst unbeaufschlagtes Verpresskissen (1), die Hohllage des Gründungskörpers (2, 4) ist schematisch dargestellt. In Fig. 3b ist das Verpresskissen (1) mit Verpressmaterial gefüllt, der Kraftschluss zwischen Meeresboden (5) und Gründungskörper (2, 4) ist hergestellt. Entlang der Lasteinleitungsflächen (2) verlaufen Stahlschürzen (9), die in den Meeresgrund (5) einbinden. Durch den Betonkörper (4) der Gründung und der Lasteinleitungsfläche (2) führen Leerrohre (12) für Kompensationsinjektionen.

**[0028]** Fig. 4 zeigt das Messsystem (10) im Mast (7) oberhalb der Wasseroberfläche.

## Bezugszeichenliste

### [0029]

- |    |    |                                                         |
|----|----|---------------------------------------------------------|
| 5  | 1  | Verpressbares Kissen                                    |
|    | 2  | Stützfuß / Lasteinleitungsbereich                       |
|    | 3  | Verpressleitung mit Ventilen                            |
| 10 | 4  | flächenhafte Gründung                                   |
|    | 5  | Meeresboden                                             |
| 15 | 6  | Betonbalken, einzeln oder auch Teil eines Gesamtkreuzes |
|    | 7  | Unterbau/Mastuntersatz                                  |
| 20 | 8  | Mast der Windenergieanlage                              |
|    | 9  | Stahlschürze                                            |
|    | 10 | Schlauchwaagensystem                                    |
| 25 | 11 | Leerstelle in der flächenmäßigen Gründung               |
|    | 12 | Leerrohr                                                |

## Patentansprüche

1. Flächenmäßige Gründung für eine Offshore-Windenergieanlage, die Kippmomente des Mastes (7, 8) als Flächendruck an den Meeresboden (5) überträgt, wobei die Lasteinleitung in den Meeresgrund in definierten Bereichen (2) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** unter den an den äußeren Enden der Gründung (4) liegenden Lasteinleitungsbereichen (2) mehrkammrige Verpresskissen (1) angeordnet sind, die jederzeit und mehrfach mit Material unter Druck beaufschlagt werden können und so eine nachträgliche Verbesserung des Kraftschlusses sowie einen nachträglichen Ausgleich von Schiefstellungen - auch während der Nutzungsdauer - ermöglichen.
2. Flächenmäßige Gründung (4) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kissen (1) aus wasserdurchlässigem, zugfestem, geotextilem, Material bestehen.
3. Flächenmäßige Gründung (4) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flächenmäßige Gründung (4) als vorgefertigtes oder aus Einzelteilen (6) zusammengesetztes Betonkreuz ausgeführt ist und mit entsprechenden Textil-Kissen (1)

und allen zugehörigen Verpressleitungen (3) und -ventilen versehen ist.

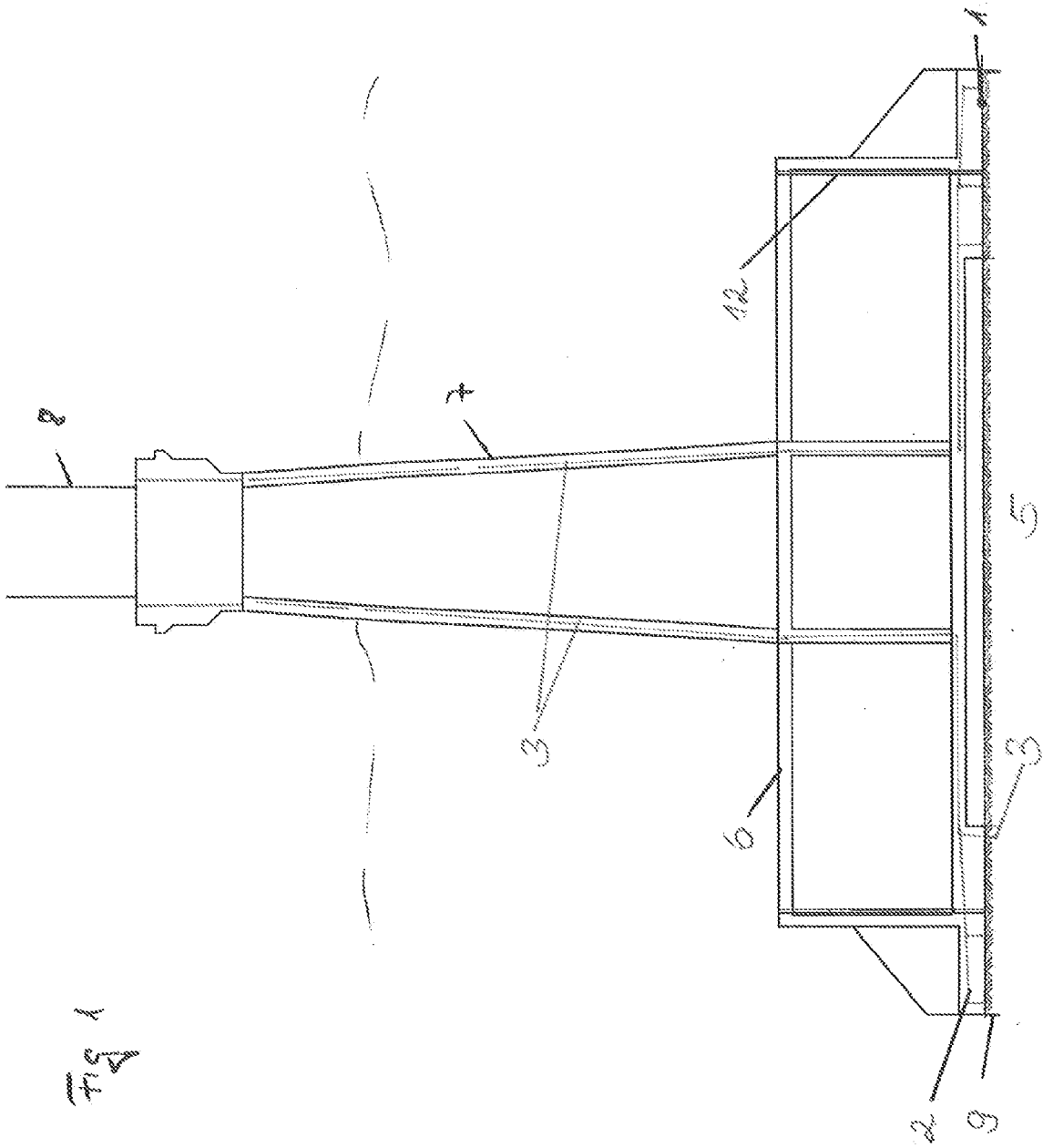
4. Flächenmäßige Gründung (4) nach dem Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Verpressleitungen (3) im Beton des Balkenelementes (6) und des Masts (7, 8) verlaufen. 5
  
5. Flächenmäßige Gründung (4) nach mindestens einem der Ansprüche 3 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Verpressleitungen (3) bis über die Wasseroberfläche geführt sind und von dort - im Trockenen - beaufschlagt werden. 10  
15
  
6. Flächenmäßige Gründung (4) nach mindestens einem der Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** das Gründungselement (4) zusätzlich zu den Verpressleitungen (3) über Saugleitungen zu den Lasteinleitungsbereichen (2) verfügt. 20
  
7. Flächenmäßige Gründung (4) nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** Verpressleitungen (3) und Saugleitungen mindestens teilweise identisch sind. 25
  
8. Flächenmäßige Gründung (4) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die flächenmäßige Gründung (4) zumindest während der Verpressung der Kissen (1) mit einem Neigungsmesssystem ausgestattet ist. 30  
35
  
9. Flächenmäßige Gründung (4) nach Anspruch 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** das Neigungsmesssystem ein Inklinometer- Messsystem ist. 40

40

45

50

55



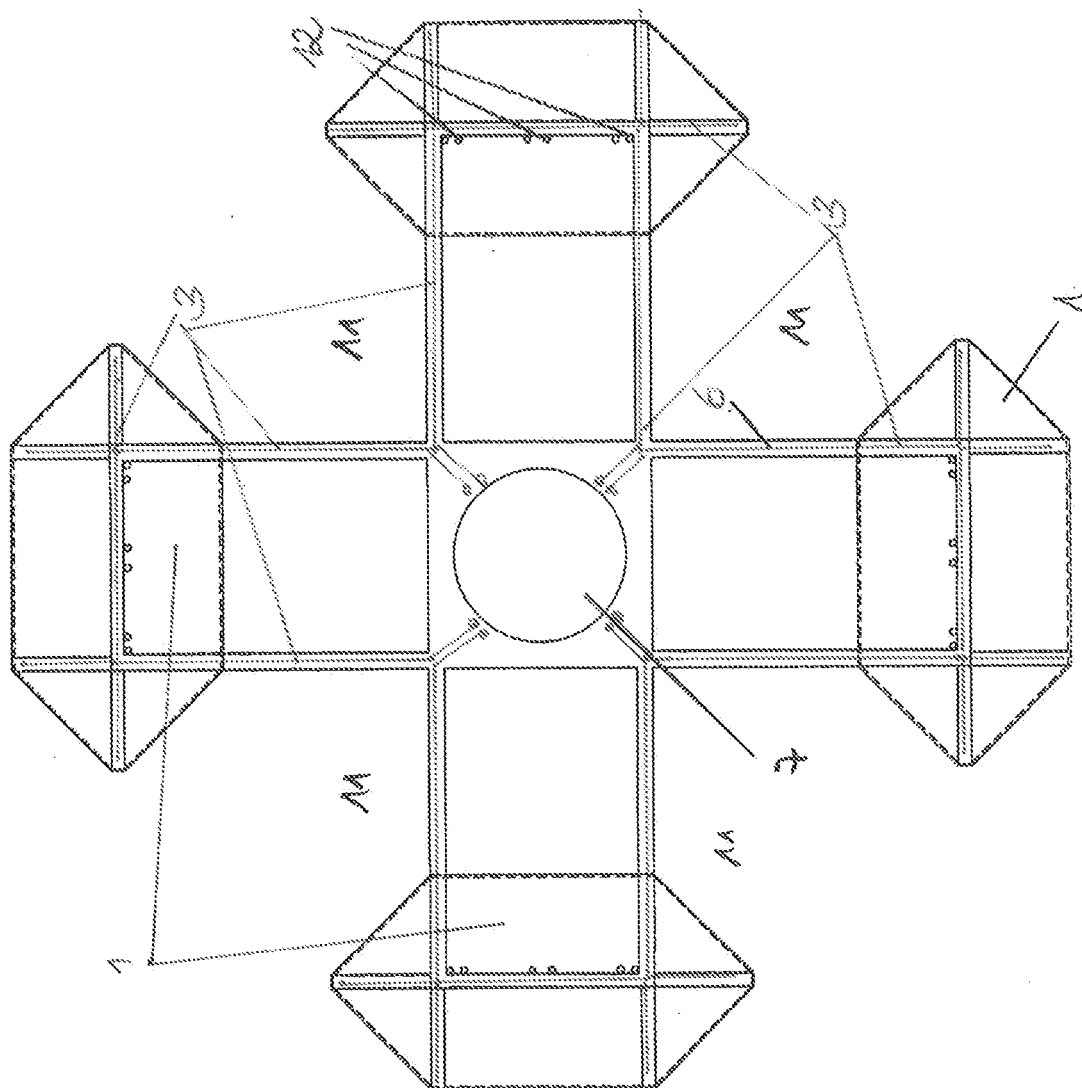


Fig 2

Fig 3a

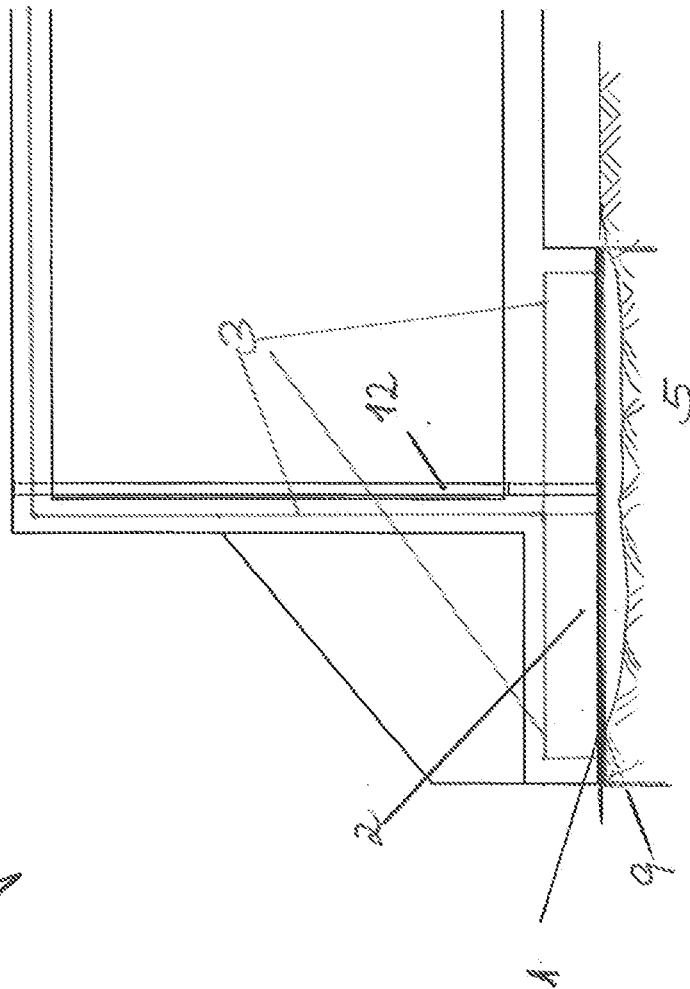
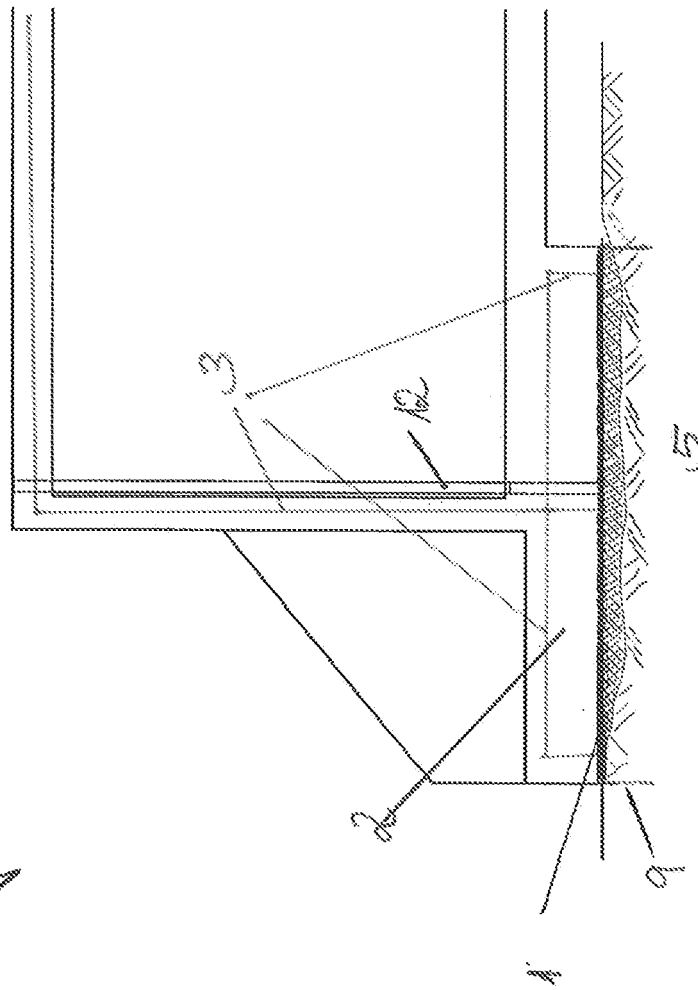


Fig 3b



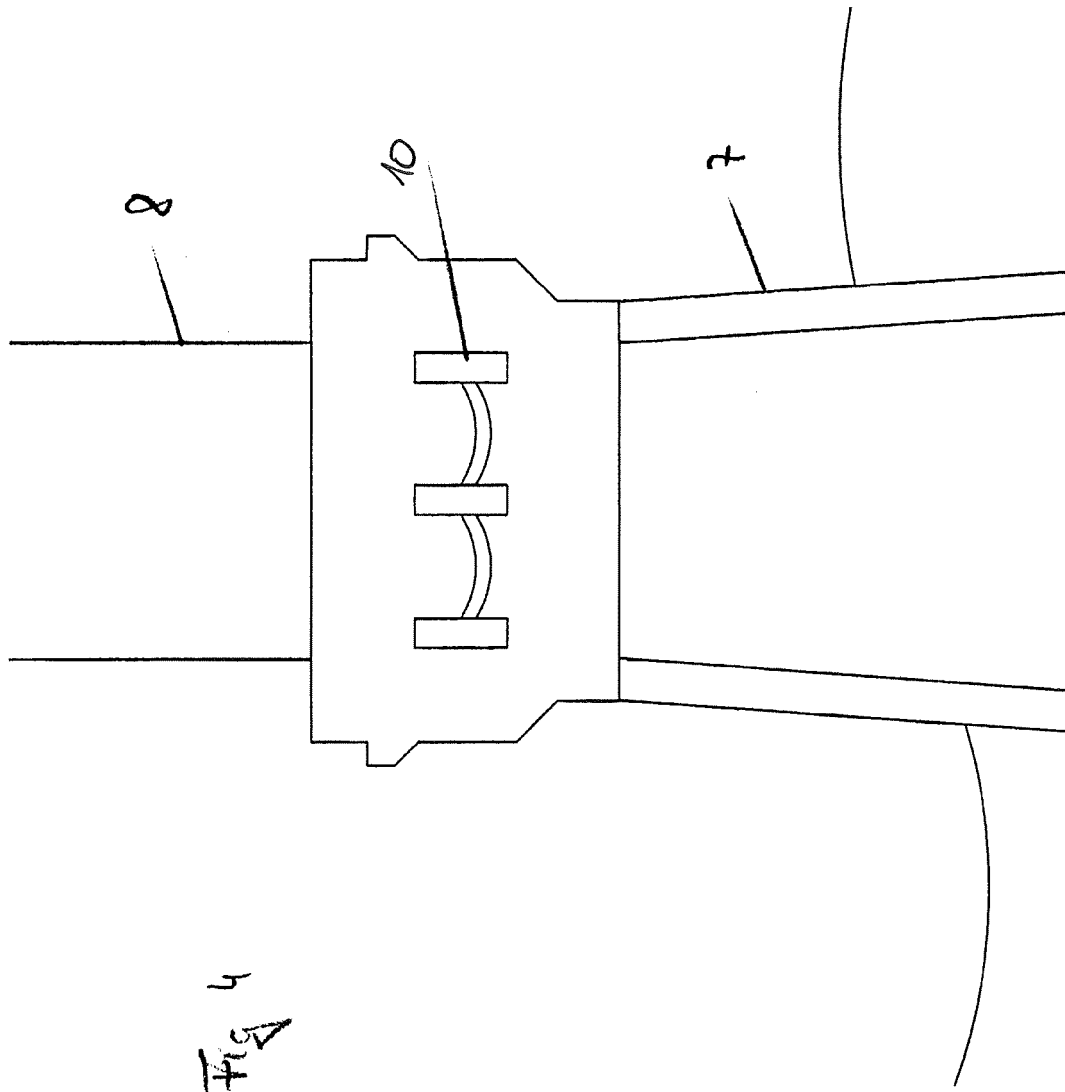


Fig 4

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1691073 A [0007]